Clustered-dot 방법으로 해프톤된 인쇄물에 대한 칼라 역 해프토닝 방법

김종민[†], 김민환[††]

요 약

본 논문에서는, clustered-dot 방법으로 해프톤된 칼라 인쇄물에 대한 새로운 역 해프토닝 방법을 제안한다. 제안한 방법은 채널 영상을 블록 단위로 나눈 후, 모아레 영역을 추출하고 평활화 단계에서 모아레 패턴의 세기에 따라 평활화 정도를 조절함으로써 기존의 방법보다 자연스럽게 평활화된 연속계조영상(continuous tone image)을 얻을 수 있다. 이때 경계 정보를 함께 고려함으로써, 역 해프토닝된 영상에서 의미있는 경계가 잘 보존될 수 있도록 하였다. 실험을 통해, 제안한 방법이 경계를 잘 보존하고 모아레 패턴을 효과적으로 제거함으로써 기존의 방법보다 향상된 역 해프토닝 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 제안한 방법은 디지털 도서관의 구축, 칼라 인쇄물 영상 압축, 멀티미디어 제작 등의 분야에서 효과적으로 활용될 수 있다.

Color Inverse Halftoning for Color Prints Halftoned by Clustered-dot Method

Jong-Min Kim[†], Min-Hwan Kim[††]

ABSTRACT

In this paper we propose a new color inverse halftoning for color prints halftoned by clustered-dot. The proposed method divide channel image into blocks and then extract moire region according to its strength. To get more natural continuous tone image in human vision, the proposed method smoothes the extracted moire region in proportion to moire strength. It can also preserve the significant edges well by considering edge information of color halftone image in the process of inverse halftoning. Experimental results show that the proposed method can make more improved inverse halftoning image than the results of previous works. It could be applied to field of multimedia application, such as digital library construction, color print image compression and multimedia authoring.

1. 서 론

해프토닝은 연속계조영상을 이진 값만 출력 가능한 출력장치에 표현하기위해 이진영상으로 변환하는 것으로서, 인간의 눈이 시각적으로 공간 평활화(spatial averaging) 특성을 갖는데 기초를 두고 있다[1]. 해프토닝 방법은 크게 error diffusion과 ordered dither 방법으로 나눌 수 있는데, error diffusion 방법은 주위 화소의 이진화 오차를 분산시키는 방법으로서 ordered dither 방법보다 질 좋은 해프톤 영상을 얻을 수 있다. Ordered dither 방법은 clustered-dot 방법과 dispersed-dot 방법으로 분류할 수 있는데, clustered-dot 방법은 계산 방법이 간단하여 속도가 빠른 장점이 있으며, 고립된 픽셀(isolated pixel)을 생성하기 어려운 인쇄장치에서 주로 사용된다[2]. 이 방법은 타 방법에 비해 질은 떨어지지만, 비교적 저렴한 비용으로 대량 인쇄가 가능하기 때문에 현재 신문, 잡지 인쇄에 널리 사용된다. Dispersed-dot 방

이 논문은 1997년 정보통신부 대학기초연구지원사업 연구비에 의하여 연구되었음.

† 고신대학교 전산수학과 조교수
†† 부산대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수

법은 경계와 텍스춰(texture)를 잘 보존하는 특성이 있으나, 종이에는 고립 픽셀의 형태를 유지하기가 어렵기 때문에 인쇄에는 거의 사용되지 않고 단색 출력 장치(monochrome display)에 때때로 사용된다[3].

해프톤된 영상에 대해서는 기존의 영상 처리 방법을 적용하기 곤란하며, 해프토닝 과정에서 첨가된 고주파 성분들로 인해 픽셀간의 유사성이 저하되어 압축율도 떨어지게 된다. 또한 서로 다른 칼라로 인쇄된 해프톤 셀의 간섭으로 인한 모아레 패턴이 존재하기 때문에 시각적으로도 자연스럽지 못하다. 한편, 대부분의 경우 원시 영상을 구하기 어렵기 때문에 칼라 인쇄물을 디지털 환경에서 활용하기 위해서는 연속계조영상으로의 변환이 필수적인데, 이 과정을 역 해프토닝이라 한다.

역 해프토닝은 일반적인 영상처리 분야의 문제와 같이 정확한 하나의 해가 없으며, 해프토닝 과정에서 원시 영상이 갖는 많은 정보들이 손실되었기 때문에, 역 해프토닝을 통해 원시 영상과 완전히 동일한 연속계조 영상을 복구할 수 없다. 따라서, 해프톤된 칼라 영상으로부터 원시 영상과 보다 가까운 연속계조영상을 만들기 위해서는 해프토닝 과정에서 부수적으로 발생한 현상들을 분석한 후, 이를 효과적으로 제거할 수 있는 방법의 개발이 요구된다.

본 논문에서는, 해프토닝 방법 중 일반적인 인쇄에서 널리 사용되는 clustered-dot 방법으로 해프톤된 칼라 인쇄물의 특성을 분석하고, 이를 통해 인쇄물로부터 연속계조영상을 만드는 방법에 대해 연구하였다. 이때, 의미있는 경계는 보존하면서 해프톤 과정에서 발생한 패턴을 효과적으로 제거할 수 있는 방법을 개발함으로써 기존의 방법보다 원시 영상에 가까운 연속계조영상을 얻을 수 있다. 제안한 역 해프토닝 방법은 디지털 도서관 구축, 칼라 인쇄물 영상의 압축, 멀티미디어 제작, 탁상출판 등과 같이 칼라 인쇄물을 다루는 분야에서 효과적으로 활용될 수 있는 기술이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 역 해프토닝과 관련된 기존의 연구에 대해 살펴보고, 3장에서는 clustered-dot 방법으로 인쇄된 해프톤 영상의 스펙트럼 특성에 대해 살펴본다. 4장에서는 모아레 특성 분석에 대해, 5장에서는 본 논문에서 제안하는 역 해프토닝 방법에 대해 설명한다. 6장에서는 제안한 방법의 성능을 실험을 통해 분석하고, 7장에서는 결론 및 향후 연구 방향에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

역 해프토닝 방법은 기본적으로 저주파 필터링(low pass filtering)에 기초를 두고 있다. 이때, 고주파 성분의 제거에 의한 경계 정보가 상실되는 문제가 발생하기 때문에, 대부분의 기존 연구에서는 고주파 성분의 효과적인 복구 문제를 다루고 있다. 기존의 연구[4-6]는 주로 흑백 영상에 대한 역 해프토닝 방법인데, 칼라 해프톤 영상에서는 채널별로 각각 서로 다른 해프톤 셀 크기와 각도로 인쇄되기 때문에 흑백 해프톤 영상에서 나타나지 않는 특성들이 나타난다. 따라서 이와 같은 특성이 충분히 고려되지 않은 기존의 흑백 해프톤 영상에 대한 역 해프토닝 방법은 칼라 역 해프토닝에 확장 적용하기 곤란하다[9].

칼라 해프톤 영상을 다루는 연구[3,7,9]는 초기 단계인데, [7]에서는 error diffusion으로 해프톤된 영상에 대해, 학습과정을 통해 얻어진 코드북(codebook) 정보를 이용하여 연속계조영상을 만드는 방법을 제안하고 있다. 이 방법은 특정한 영상으로부터 생성된 코드북을 역 해프토닝에서 활용하기 때문에, 다양한 칼라 분포 특성을 갖는 임의의 입력 영상을 효과적으로 처리하기 곤란하다.

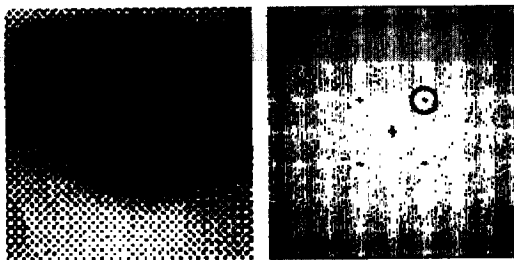
Clustered-dot 칼라 해프톤 영상을 다루는 연구로는 [3, 9]가 있다. [3]은 퓨리에 공간에서 구한 해프톤 셀 크기와 인쇄 각도를 이용하여 평활화 마스크를 만든 후, 이를 이용하여 각 채널 영상을 평활화함으로써 불필요하게 많은 고주파 성분이 제거되는 것을 방지하고 있다. 그러나 이 방법은 채널의 간섭현상으로 인해 형성된 패턴을 효과적으로 제거하지 못하며 [9] 모아레 패턴도 효과적으로 제거하지 못하는 문제가 있다.

[9]에서는 칼라 역 해프토닝에 적합한 새로운 평활화 마스크를 제안하고 있다. 이 마스크는 고주파 성분을 불필요하게 제거하지 않으면서 채널의 간섭현상으로 인해 발생한 해프톤 셀 패턴은 잘 제거하는 특성이 있으나, 이 방법 역시 모아레 패턴을 효과적으로 제거하지 못하는 단점이 있다.

이에 따라, 본 논문에서는 해프톤 셀 패턴과 모아레 패턴을 효과적으로 제거함으로써 원시 영상에 보다 가까운 연속계조영상을 얻을 수 있는 칼라 역 해

프토닝 방법을 제안한다. 제안한 방법은 모아레 패턴이 존재하는 영역을 추출하고, 추출된 영역의 평활화 정도를 모아레 패턴의 세기에 비례하게 조정하기 때문에 시각적으로 자연스러운 역 해프토닝 영상을 얻을 수 있다. 또한 평활화 과정에서 경계를 고려하여 평활화하기 때문에 역 해프토닝 후 경계가 손실되어 전체 영상이 흐려 보이는 현상을 효과적으로 방지할 수 있다.

3. Clustered-dot 해프톤 영상의 스펙트럼 특성

Clustered-dot 방법으로 해프톤한 흑백 영상을 확대하여 살펴보면 그림 1 (a)에서와 같이 특정한 각도와 일정한 간격으로 인쇄된 해프톤 셀을 볼 수 있다. 그림 1 (b)는 (a)영상을 퓨리에 변환한 후 그 절대값을 나타낸 것인데, 퓨리에 공간에서 원점을 제외한 가장 높은 값을 갖는 피크가 존재한다(원으로 표시된 피크). 이 피크는 해프톤 셀이 특정 각도와 간격으로 인쇄되었기 때문에 나타나는 현상인데, 이 피크의 위치정보와 영상의 크기 정보를 이용하면 인쇄 각도와 셀 크기를 구할 수 있다[3].

(a) 흑백 해프톤 영상

(b) FFT 결과 영상

그림 1. 흑백 해프톤 영상의 특성

칼라 해프토닝에서는 칼라 영상을 CMYK칼라 모델의 기본 칼라인 cyan(C), magenta(M), yellow(Y), black(K) 채널로 분리하고 각 채널을 해프토닝한 후, 미리 정해진 순서에 의해 중첩 인쇄한다. 이때 각 채널은 미리 정해진 일정한 각도로 인쇄하게 되는데, 일반적인 각도는 그림 2와 같이 C, M, Y, K에 대해 각각 15°, 75°, 0°, 45°이며 C와 M의 각도는 서로 바뀔 수 있다[2]. 칼라 해프톤 영상의 경우는 스캐닝한 RGB 영상으로부터 C, M, Y채널을 분리한 후, 각 채널을 퓨리에 변환하여 가장 높은 스펙트럼 값을 갖는 피크의 위치를 구하면 채널별 인쇄각도와 셀 크기를 계산할 수 있다.

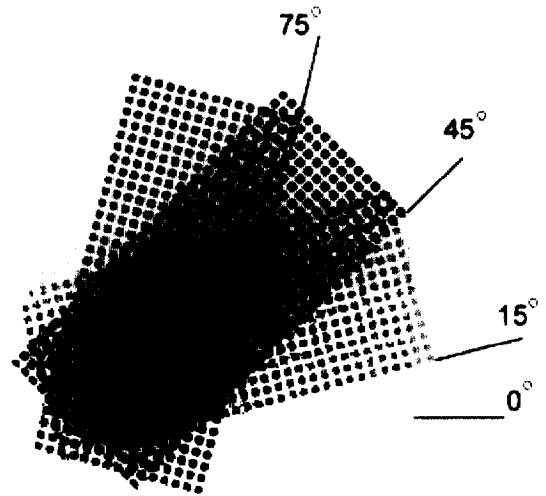



그림 2. 채널별 인쇄 각도

4. 모아레 분석

Clustered-dot 방법으로 해프톤된 칼라 영상을 스캐닝한 후 채널을 분리하여 퓨리에 변환하면, 흑백 해프톤 영상과 달리 채널간의 간섭현상으로 인한 피크와 그림 2에서와 같이, 서로 다른 채널의 해프톤 셀이 중첩 인쇄될 때 나타나는 모아레 패턴에 의해 형성된 피크가 존재한다[9].

이러한 모아레 패턴은 주파수 공간에서 해석 가능한데, 두 개의 라인 스크린에 의해 형성되는 모아레에 대한 주파수 공간에서의 벡터 해석은 그림 3과 같다[2]. 한 라인 패턴(line pattern)에 대한 주파수 공간에서의 벡터 방향은 라인 패턴과 수직이며, 그 크기는 라인 주기에 반비례하게 표현된다. 이때 두 라인 패턴에 의해 형성된 모아레 패턴은 두 벡터의 합으로 해석할 수 있으며, 칼라 해프톤 영상의 경우에 대한 모아레도 동일한 방법으로 해석 가능하다.

칼라 해프톤 영상에서 분리한 C 채널 영상의 퓨리에 스펙트럼에서는 그림 4와 같이 cyan 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의해 형성된 피크(C로 표시된 피크)가

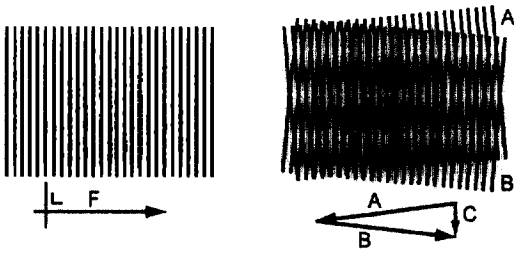



그림 3. 주파수 공간에서의 모아레 해석

원점을 제외한 영역에서 가장 높게 나타나며 각 분면마다 원점 대칭인 위치에 존재한다. 한편 칼라 해프톤 영상의 스펙트럼에서는, 흑백 해프톤 영상(그림 1)의 스펙트럼에서 볼 수 없는 피크(화살표로 표시된 피크)가 존재하는데, 이 피크들은 다른 칼라로 인쇄된 해프톤 셀에 의해 형성된 것으로서, 칼라 채널 분리 과정에서 각 채널을 완벽하게 분리하지 못하기 때문에 발생한다[9]. 한편, 서로 다른 칼라의 해프톤 셀이 중첩 인쇄될 때 발생하는 모아레 패턴에 의해 형성된 피크가 존재하는데 이것이 모아레 피크이다. 그림 4에서 모아레 피크 CK는 15°와 45°로 인쇄된 해프톤 셀 패턴에 의해 형성된 것으로서 피크 C, K와 원점이 형성하는 벡터 y_1과 y_2의 합 위치에 존재한다.

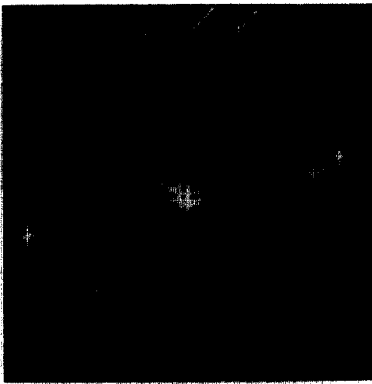



그림 4. 해프톤 영상에서의 모아레 해석

일반적인 칼라 인쇄에서 채널 별 인쇄 각도는 그림 2와 같고, 각 채널에 대한 셀 크기는 C, M, K의 경우는 동일하며 Y는 C, M, K 셀 크기의 1.1배이다[2]. 그림 5는 C, M, K의 셀 크기가 1일 경우, 두 개의 해프톤 셀 패턴의 조합으로 나타날 수 있는 모아레 피크의 위치를 주파수 공간에서 1사분면에 나타낸 것이다. 이때, Y에 의한 모아레 CY, MY의 경우는 다른 모아레 보다 원점에 가까운 곳에 존재하기 때문에 다른 모아레에 보다 채널 영상에서 큰 패턴을 형성하지만, Y칼라는 다른 칼라에 비해 밝기 때문에 Y로 인한 모아레는 사람 눈에 시각적으로 덜 민감하다[2].

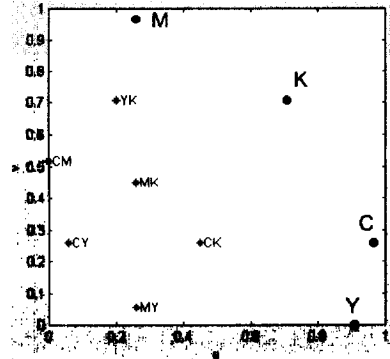



그림 5. 주파수 공간에서의 모아레 피크 위치

주파수 공간에서 모아레 벡터의 크기 x는 그림 4와 같이 두 벡터의 합이 되므로, (식 1)과 같이 표현된다.

$$x = \sqrt{y_1^2 + y_2^2 - 2\cos(180 - \theta)} \qquad \text{(식 1)}$$

이때, θ는 두 벡터 y_1과 y_2가 이루는 각도이다. 따라서, (식 1)에 의해 모아레 CM, MK, CK는 원점에서 같은 거리에 존재하고 CY, MY도 원점에서 같은 거리에 위치한다. 모아레 YK의 경우는 Y와 K가 이루는 각도가 다른 모아레 경우보다 작기 때문에 모아레 피크중 원점에서 가장 먼 위치에 존재한다.

5. 제안한 칼라 역 해프토닝 방법

기존의 방법 [3,9]에서 사용된 평활화 마스크는 기본 해프톤 셀 패턴을 제거하기 위해 설계되었기 때문에 모아레 패턴을 효과적으로 제거하는데는 적합하지 않다. 왜냐하면 모아레 패턴은 기본 해프톤 셀 패턴보다 더 큰 패턴이기 때문에, 모아레 패턴을 제거하기 위해서는 보다 큰 마스크로 평활화를 해야 하기 때문이다. 만일 모아레를 제거하기에 적합한 마스크로 전체 채널 영상을 평활화하게 되면, 경계가 손실

되고 과도한 평활화로 인해 영상이 흐려지는(burring) 현상이 발생된다. 따라서, 채널 영상에 존재하는 해프톤 셀 패턴과 모아레 패턴을 효과적으로 제거하기 위해서는, 채널 영상의 평활화 과정에서 모아레 영역을 구분하여 평활화 할 필요가 있다.

본 논문에서는 모아레 영역을 추출하기 위해 채널 영상을 블록으로 나눈 후, 모아레 영역을 추출하고 추출된 모아레 영역만 모아레 제거에 적합한 마스크로 평활화한다. 이때 경계가 모아레 영역에 포함되어 추출되면 모아레 영역 평활화 과정에서 경계가 손실되므로, [9]에서 제안한 마스크로 평활화된 채널 영상으로부터 경계를 먼저 추출한 후, 경계외의 영역에서 모아레 영역을 추출한다.

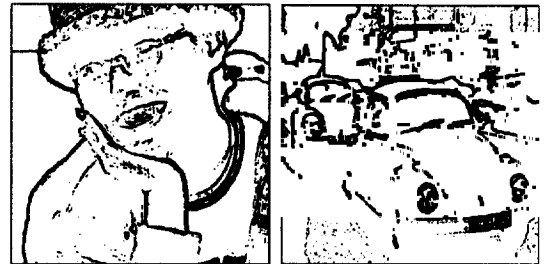
5.1 경계 추출

칼라 해프톤 영상에서는 연속계조영상에서 존재하는 경계 정보가 많이 손실된 상태이기 때문에 해프톤 영상으로부터 정확한 경계를 복원하는 것은 어려운 일이다. [8]에서는 error diffusion으로 이진화된 흑백 해프톤 영상에서 직접 경계를 추출하는 방법을 제안하고 있다. 그러나, clustered-dot 방법은 error diffusion 방법에 비해 경계 표현능력이 떨어지는 방법이고, 칼라 해프톤의 경우에는 칼라 채널을 완벽하게 분리할 수 없기 때문에 채널 영상으로부터 직접 경계를 추출하는 것은 어려운 일이다. 본 연구에서는 입력된 칼라 해프톤 영상을 채널별로 분리한 후, [9]에서 제안한 평활화 마스크로 채널 영상을 평활화한 영상으로부터 경계를 추출하였다. 이때 채널 평활화에 사용된 평활화 마스크는 [3]에서 제거하지 못했던 해프톤 패턴들은 효과적으로 제거하면서 불필요하게 고주파 성분을 제거하지 않는 특성이 있어 경계를 추출하기에 적합하다.

칼라 영상의 경계는 응용분야에 따라 다양하게 정의될 수 있다. 본 논문에서는 각 채널에 대해 소벨(Sobel) 연산자를 수행한 후, 각 채널의 그래디언트(gradient)의 합을 칼라 그래디언트로 사용하였고, 그 크기는 (식 2)와 같다[11].

$$G = \sqrt{G_{red}^{2} + G_{green}^{2} + G_{blue}^{2}} \qquad (식\ 2)$$

이와 같은 방법으로 구한 칼라 그래디언트 영상으로부터 임계화 단계를 거쳐 해프톤 영상의 경계를 구하는데(그림 6(a)), 임계화 방법은 전체 영상에 대해 한 개의 임계값을 적용하는 전역 임계화(global thresholding) 방법을 사용하였다. 지역 임계화(local thresholding)을 적용할 경우에는 채널 영상의 평활화 후에도 남아있는 패턴이 형성하는 불필요한 경계가 강조되어 추출될 가능성이 높기 때문에 이와 같은 응용에서는 부적절하다. 이때 임계값은 다양한 칼라 해프톤 영상에 적용될 수 있도록 실험을 통해 정하였다.

경계 영상을 구하기 위해 임계화된 이진 경계 영상을 살펴보면, 채널 영상의 평활화 후 잘 제거되지 않는 패턴에 의한 의미없는 경계 요소들이 남아 있을 수 있다(그림 6(a)). 이를 제거하기 위해 8방향으로 연결된 경계 연결 요소(connected component)를 구한 후, 연결 요소를 구성하는 픽셀의 개수가 일정한 값 이하면 의미없는 경계로 간주하여 경계 영상에서 제거하였다(그림 6(b))

(a) 연결요소 처리 전

(b) 연결요소 처리 후

그림 6. 경계 영상 추출 결과

이와 같이 구한 경계 영상 정보를 이용하여 경계 성분이 존재하지 않는 영역에 대해 모아레 영역을 추출한 후, 모아레 영역 평활화를 통해 기존의 방법에서 제거하지 못했던 모아레 패턴을 제거한다.

5.2 모아레 영역의 추출

모아레 패턴은 인쇄시 사용된 셀 패턴과 각도에 따라 매우 다양한 각도와 크기로 나타난다. 따라서, 영상 공간(spatial domain)에서 모아레 패턴이 존재하는지를 판단하는 것은 매우 어려운 일이다. 4장에서 설명한 바와 같이 모아레 패턴이 채널 영상에 존재하면 퓨리에 공간에서 피크를 형성하므로, 일정 영역 내에서 모아레 패턴의 존재 여부는 모아레 피크 위치의 스펙트럼 값을 조사함으로써 판단하는 것이 타당하다.

본 논문에서는 모아레 영역을 추출하기 위해 각 채널 영상을 일정 크기의 블록으로 분할하고, 각 블록을 퓨리에 변환한 후 모아레 피크의 존재 여부를 조사함으로써 모아레 블록을 추출하게 된다. 이와 같이 어떤 모아레 패턴의 존재 여부를 알기 위해 블록 단위로 조사하는 이유는, 어느 정도 큰 영역을 고려해야 모아레 패턴이 주파수 공간에서 피크를 형성하기 때문이다.

모아레 영역 분할 시, 모아레 패턴이 강하게 존재하는 영역과 약하게 존재하는 영역을 구분하여 추출한 후, 패턴의 강도에 따라 평활화 정도를 조절하면 보다 자연스럽게 평활화된 역 해프토닝 영상을 얻을 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는, 표 1과 같이 모아레 영역을 추출함으로써 모아레 패턴의 세기에 비례하게 가중치를 구할 수 있다.

이와 같이 두 단계로 모아레 영역을 추출하는 이유는, 처음부터 채널 전체에 대해 모아레 영역을 세밀하게 조사할 경우 계산량 부담이 크기 때문이다. 제안한 방법은 [단계 1]에서 개괄적인 모아레 영역을 추출한 후, 추출된 모아레 영역을 [단계 2]에서 세밀하게 조사하여 모아레 패턴의 세기에 따라 가중치를 할당하게 된다. 이를 위해 [단계 1]에서는 채널 영상을 *NxN* 픽셀 크기의 블록으로 나누고, [단계 2]에서는 보다 작은 블록 단위인 *nxn* 픽셀 크기의 블록으로 나눈 후, 표 1과 같은 각 단계별 과정을 거친다.

한 TB를 중심으로 k=7인 경우의 MTB를 그림 7에 나타내었다. 이때 TB의 크기인 n의 값을 크게 하면 세밀하게 모아레 영역의 가중치를 결정할 수 없기 때문에, 본 논문에서는 TB의 크기를 각 채널 영상에서의 해프톤 셀 크기로 정하였다. MTB의 크기는 퓨리에 변환했을 때 모아레 피크간의 8방향거리 (chessboard distance)[12]가 2이상이 되면서 MTB

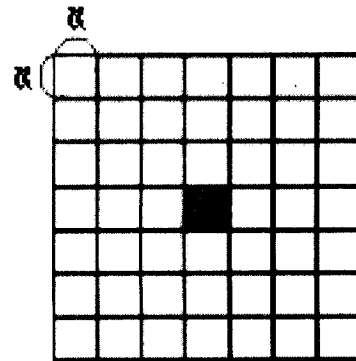



그림 7. TB(Test Block)와 MTB(Moire Test Block), k=7

표 1. 모아레 영역 추출 과정

단계 1	① 채널 영상을 *NxN* 픽셀 크기의 블록 단위로 분할한다 ② 이 블록을 1/2씩 중첩하여 이동하며 모아레 피크의 존재 여부를 조사한다. ③ 모아레 피크가 존재하면 해당 블록을 모아레 영역으로 추출한다. ④ 전체 블록에 대해 ②, ③의 과정을 반복한다.
단계 2	① 채널 영상을 *nxn* 픽셀 크기의 블록으로 분할하고 이 블록을 TB(Test Block)라 정의한다. ② 모든 TB에 대한 모아레 가중치와 flag 값을 0으로 초기화 한다. ③ 한 TB를 중심으로 *kxk* TB들을 MTB(Moire Test Block)이라 정의한다(그림 7). ④ [단계 1]에서 추출된 모아레 영역 내의 TB들을 테스트 큐(queue)에 삽입한다. ⑤ 테스트 큐에 있는 TB에 대해 MTB를 구하고, 이 MTB에 모아레 피크가 존재하는지를 조사한다. 이때, 경계가 MTB내에 존재하면 모아레 피크 테스트를 하지 않는다. ⑥ 모아레 피크가 존재하면, MTB내의 모든 TB에 대한 모아레 가중치를 1씩 증가시킨다. ⑦ 모아레 테스트가 끝난 TB는 테스트 큐에서 삭제하고, flag 값을 1로 바꾼다. ⑧ MTB내의 TB들 중, 현재 테스트 큐에 존재하지 않고 flag 값이 0인 TB들은 테스트 큐에 삽입한다. ⑨ 테스트 큐가 공백(empty)이 될 때까지 ⑤~⑧ 과정을 반복한다.

내부에 존재할 수 있는 모아레 패턴이 퓨리에 공간에서 피크를 형성할 수 있을 정도의 크기가 되도록 그 값을 정하였다. 왜냐하면 MTB의 크기가 너무 작게 되면, 모아레 피크의 위치가 퓨리에 공간에서 중첩되어 피크 위치의 스펙트럼 값을 제대로 판단할 수 없을 뿐만 아니라 모아레 패턴이 퓨리에 공간에서 피크를 형성하지 못하기 때문이다.

일반적으로 영상은 좌우, 상하 경계면에서 불연속이 발생하기 때문에, 이를 퓨리에 변환하면 이러한 불연속 속성을 표현하기 위한 주파수에 해당하는 스펙트럼 값이 높게 나타날 수 있다. 만일 어떤 MTB를 퓨리에 변환했을 때, 경계면의 불연속을 표현하기 위한 주파수 좌표가 모아레 피크 위치와 유사하게 되면, 실제는 모아레 피크가 존재하지 않지만 모아레 영역으로 판단하여 추출될 수도 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 효과적으로 해결하고 모아레 피크 조사의 신뢰도를 높이기 위해, 모아레 피크를 조사하기 전 C, M, K의 피크 값을 조사한 후 일정한 값 이상의 피크가 두 개 이상 존재하는 경우에 한해서 이들 피크로 인해 형성될 수 있는 모아레 피크 위치의 스펙트럼 값을 조사한다.

표 2는 C, M, K 피크의 존재 여부에 따른 해당 모아레 피크의 조사 경우를 나타내고 있는데, Y 에 의해 형성되는 모아레는 Y 성분이 시각적으로 다른 칼라에 비해 덜 민감하기 때문에[2] 조사 경우에서 제외하였다.

표 2. 모아레 피크의 조사 경우

피 크			모아레 피크		
C	M	K	CM	MK	CK
O	O	O	O	O	O
O	O	-	O	-	-
O	-	O	-	-	O
-	O	O	-	O	-

[단계 2]에서 MTB가 모아레 블록으로 판단되면 MTB에 포함된 TB들에 대한 모아레 가중치도 1씩 증가시킨다. 이와 같이 인접한 TB의 가중치도 증가시키는 이유는 한 TB가 모아레 블록으로 판단되는데 주변 TB도 기여했기 때문이다. 모아레 테스트가 종료된 후 가중치가 1이상인 영역은 모아레 영역으로 추출되며, 그 가중치는 모아레 패턴의 세기가 반영된 결과이다. 한편, MTB의 영역내에 채널 영상의 경계가 포함될 경우는 모아레 테스트를 하지 않는다. 왜냐하면 경계가 모아레 영역으로 추출되면 모아레 영역 평활화 과정에서 경계부분이 손상되기 때문이다.

제안한 방법은 모아레 영역을 추출하기 위해 블록별 퓨리에 변환을 수행한다. 퓨리에 변환은 많은 계산량이 요구되는 변환이지만, 모아레 영역을 추출하기 위해 조사하는 피크의 위치는 계산을 통해 미리 알 수 있기 때문에, 본 논문에서는 모아레 피크 위치의 스펙트럼 값을 구하기 위해 MTB 전체를 변환하지 않고 피크 위치에 해당하는 퓨리에 변환 값만 계산함으로써 불필요한 계산량을 줄일 수 있다.

5.3 모아레 영역의 평활화

모아레 영역은, [9]에서 제안한 마스크로 채널 영상을 평활화한 결과영상에 대해, 추출된 모아레 영역만 모아레 마스크로 다시 한번 평활화함으로써 모아레 패턴을 제거한다. C, M, K에 의해 형성되는 모아레 피크는 원점에서 동일한 거리에 존재한다. 본 논문에서는, 이러한 모아레 피크들을 한번의 평활화로 제거하기 위해서 모아레 피크들 위치에서 낮은 퓨리에 스펙트럼 특성을 갖는 평활화 마스크를 사용한다. [9]에서는 두 개의 평활화 마스크를 조합하여 새로운 평활화 마스크를 만드는 방법을 제안하고 있는데, 이때 평활화 마스크의 퓨리에 스펙트럼은 조정 변수에 의해 조절 가능하다. 따라서, 이 방법을 이용하면 모아레 피크들을 제거하기에 적합한 스펙트럼 특성을 갖는 평활화 마스크를 만들 수 있다. 본 논문에서는 모아레 피크들 중 가장 높은 피크 위치에서 첫번째 영교차가 발생하고 다른 모아레 피크 위치에서 매우 낮은 스펙트럼 특성을 갖도록 마스크를 만든 후, 이 마스크를 모아레 영역을 평활화하는데 사용하였다. 이때, 본 논문에서는 시각적으로 보다 자연스럽게 모아레 영역을 평활화하기 위해, 모아레 영역 분할 과정에서 얻어진 모아레 가중치에 비례하게 모아레 마스크의 크기를 조절하였다.

6. 실험 및 토의

본 논문에서 제안한 방법은 Windows98에서

Matlab(ver 5.1)을 이용하여 구현하였으며, 다양한 칼라 분포 특성을 갖는 영상에 적용하여 그 타당성을 검증하였다. 실험 영상은 잡지, 팜플렛 등에서 해프톤된 영상을 600dpi, 24bit 칼라로 스캐닝하였다(그림 8). 경계 영상을 구하기 위한 그래디언트 임계치는 0.05를 사용하였으며, 100개 미만의 화소로 구성된 경계 연결 요소는 의미없는 경계로 간주하고 제거하였다. 이때 사용된 임계값들은 칼라 인쇄물에 적합하도록 실험적으로 정하였다. 그림 9는 실험 영상의 경계 영상을 이용하여 C 채널에 대해 모아레 영역을 찾은 결과이며, TB의 모아레 가중치를 그레이(gray)로 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이, 모아레가 밀집된 영역에서는 가중치가 높은 값을 갖고 모아레가 아닌 영역으로 갈수록 그 값이 점차 낮아지는 것을 알 수 있다.

추출된 모아레 영역에 대해, 가중치에 비례하게 평활화 정도를 조정하여 모아레 패턴을 제거한 역 해프토닝 결과 영상은 그림 10과 같다. 제안한 방법은 경계를 고려하면서 모아레 영역을 평활화하기 때문에 과도한 평활화로 인한 영상의 흐림 현상없이 자연스럽게 평활화된 결과를 얻을 수 있었다.

본 논문에서 제안한 방법과 기존의 방법을 비교하기 위해 그림 8 (a)의 영상에 대해, 가우시안 평활화에

(a) (b)

(c) (d)

그림 8. 실험 영상

(a) (b)

(c) (d)

그림 9. 모아레 블록의 추출 결과

(a) (b)

(c) (d)

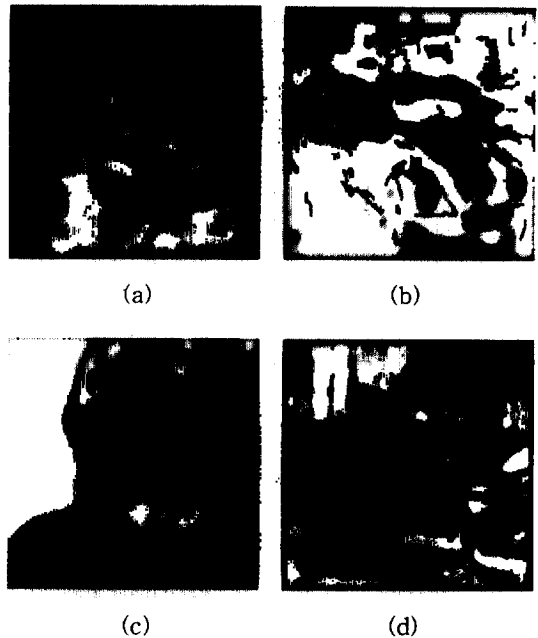
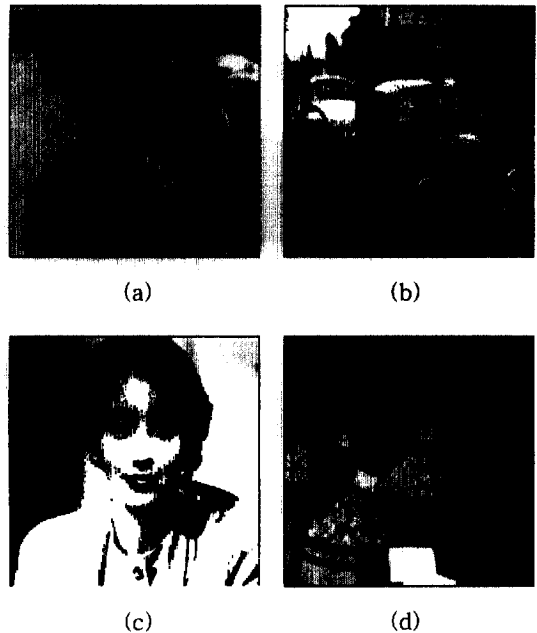
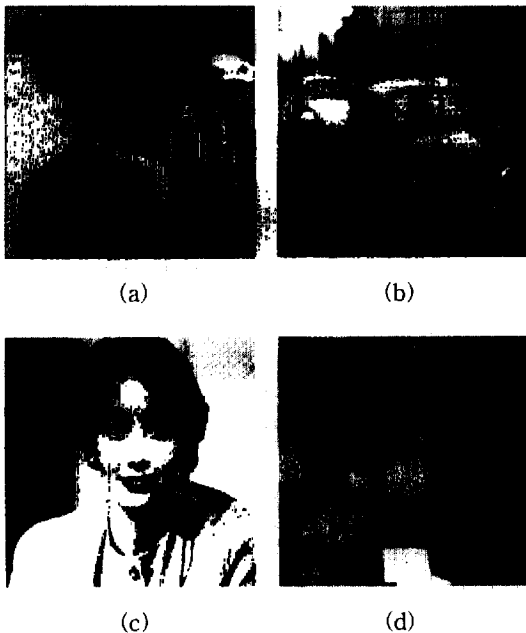
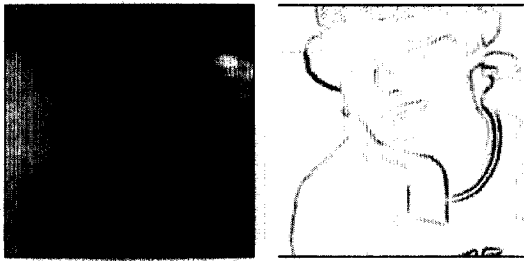
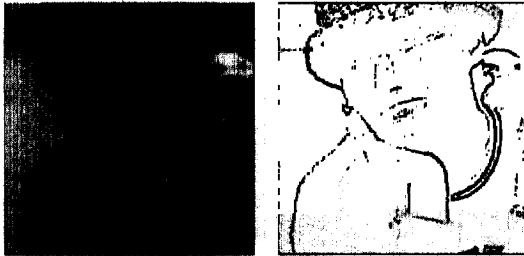



그림 10. 제안한 방법을 이용한 역 해프토닝 영상

의한 방법, [3,9]에서 제안한 방법, 본 논문에서 제안한 방법을 각각 적용한 결과 영상과 그 경계 영상을 순서대로 그림 11에 나열하였다. 가우시안 평활화 방법은 모아레 패턴을 제거할 수 있도록 평활화 정도를

(a) 가우시안 평활화

(b) [3]에서 제안한 방법

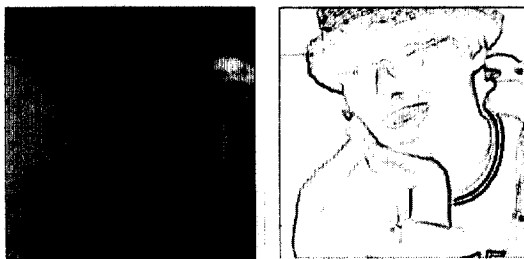
(c) [9]에서 제안한 방법

(d) 본 논문에서 제안한 방법

그림 11. 역 해프토닝 방법들에 의한 결과 영상과 경계 영상 비교

조절하였으며, 이 경우 모아레영역에 존재하는 패턴은 잘 제거되지만 그 외 영역은 과도한 평활화로 인해 결과 영상이 흐려지는 문제가 발생하였다. 한편, [3]과 [9]에서 사용된 평활화 마스크는 모아레 패턴을 잘 제거할 수 있도록 설계된 평활화 마스크가 아니기 때문에, 경계는 어느 정도 잘 보존하고 있지만 얼굴 등에 존재하는 모아레 패턴은 잘 제거하지 못했음을 알 수 있으며, 평활화 과정에서 제거되지 않은 패턴으로 인해 불필요한 경계 성분이 많이 존재함을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 역 해프토닝 영상과 경계 영상에서 알 수 있듯이, 모자와 옷 부분에 존재하는 의미있는 경계는 잘 보존하면서도 모아레 패턴을 효과적으로 제거하였음을 알 수 있다.

기존의 방법과 제안한 방법의 평활화 성능을 비교하기 위해, 각 방법의 결과 영상에서 그림 8 (a)의 모아레 영역(사각형 A)과 경계 영역(사각형 B)에 해당하는 부분의 그레이 값 변화를 그림 12에 나타내었다. 이때, 그림 12에서 왼쪽은 모아레 영역, 오른쪽은 경계 영역을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 기존의 방법들은 모아레 패턴을 효과적으로 제거하지 못했기 때문에 채널 영상의 그레이 값의 변화폭이 심하나, 본 논문에서 제안한 방법은 전체적인 윤곽은 유지하면서 모아레 패턴을 효과적으로 제거하였기 때문에 자연스럽게 평활화되었음을 알 수 있다. 한편 경계가 존재하는 영역에서도 경계 성분은 잘 보존하면서 그 외의 영역에 존재하는 불필요한 패턴은 효과적으로 제거하였음을 확인할 수 있다.

실험 영상(그림 8)을 JPEG으로 직접 압축한 결과와 기존의 방법과 본 논문에서 제안한 방법으로 구한 역 해프토닝 영상에 대한 압축 결과를 표 3에 나타내었다. 압축 결과에서 알 수 있듯이, 역 해프토닝 영상은 해프토닝 영상을 바로 압축한 것에 비해 많은 압축이 가능함을 볼 수 있고, 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 압축면에서도 향상된 결과를 보이고 있다. 이것은 제안한 역 해프토닝 방법이 압축에 장애가 되는 불필요한 고주파 성분들을 효과적으로 제거하였기 때문이다.

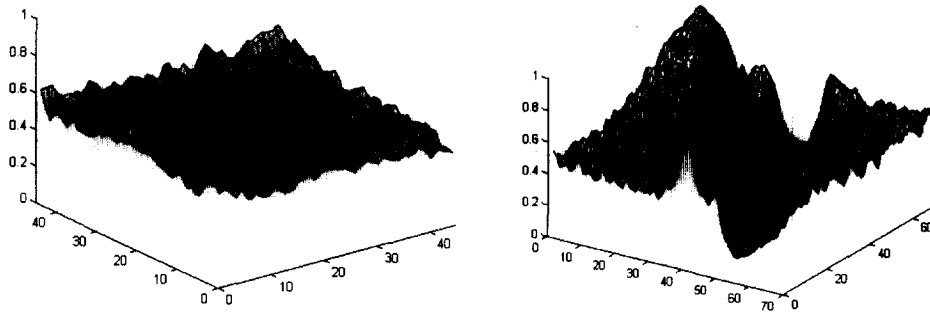
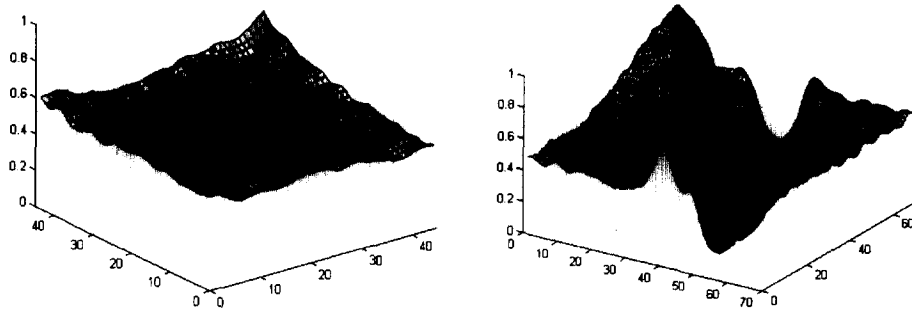
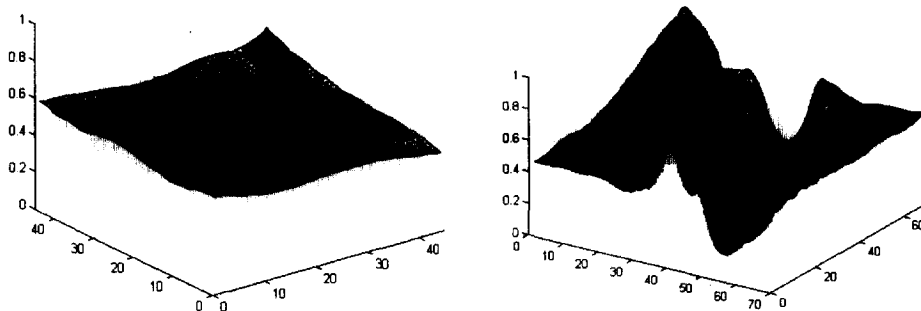
본 논문에서 제안한 방법은 Y 해프톤 셀에 의한 모아레를 고려하지 않고 있다. 이에 따라 해프톤 영상에서 Y와 다른 칼라에 의한 모아레가 존재할 경우, 역 해프토닝된 영상에서 완전히 제거되지 않은 Y 해프톤 셀에 의한 모아레 패턴이 남을 수 있다. 이러한 패턴은 Y 칼라의 특성상 시각적으로 잘 눈에 띄이지는 않지만, 보다 개선된 역 해프토닝 영상을 얻기 위해서는 Y에 의한 모아레도 함께 고려해 줄 필요가 있다.

(a) [3]에서 제안한 방법

(b) [9]에서 제안한 방법

(c) 본 논문에서 제안한 방법

그림 12. 모아레 영역과 경계 영역에 대한 평활화 성능 비교

표 3. 압축 결과 비교 (단위 : byte, 압축방법 : JPEG)

구분 / 영상	압축 전	압축 후			
			역 해프토닝된 영상		
	스캐닝된 해프톤 영상	스캐닝된 해프톤 영상	[3]에서 제안한 방법	[9]에서 제안한 방법	본 논문에서 제안한 방법
그림 8 (a)	696,114	149,021	54,860	45,382	42,430
〃 (b)	1,888,668	462,097	145,394	110,946	92,640
〃 (c)	948,510	185,008	75,575	56,948	51,848
〃 (d)	1,553,824	371,345	120,321	95,966	87,605

7. 결 론

본 논문에서는, 해프토닝 과정에서 발생하는 특성들을 분석하고 이를 통해 기존 방법의 문제점을 효과적으로 해결할 수 있는 칼라 역 해프토닝 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 채널 영상을 블록 단위로 분할 하고 퓨리에 변환한 후, 모아레 피크의 존재 여부를 조사함으로써 채널 영상으로부터 모아레 패턴 영역을 추출하여 평활화하는 것이다. 평활화 과정에서는 모아레 세기에 비례하게 모아레 영역의 평활화 정도를 조정해 주기 때문에 해프톤 영상으로부터 보다 자연스럽게 평활화 된 연속계조영상을 얻을 수 있다. 이때, 경계 정보를 함께 고려해 줌으로써 역 해프토닝 과정에서 경계가 과도하게 평활화되는 현상을 방지하였다.

실험을 통해 제안한 방법이 다양한 칼라 해프톤 영상으로부터 모아레 패턴 영역을 효과적으로 추출함을 알 수 있었다. 또한 제안한 방법과 기존의 방법에 의한 역 해프토닝된 결과 영상과 그 경계 영상을 비교하고, 모아레 영역과 경계 영역에 대한 각 방법의 평활화 성능을 분석함으로써, 제안한 방법이 기존의 방법보다 해프토닝 과정에서 발생한 패턴을 효과적으로 제거하면서도 경계를 잘 보존할 수 있음을 확인하였다.

제안한 방법은 칼라 팩스, 칼라 문서영상의 분할, 전자 출판 등과 같이 해프톤된 영상을 디지털화하여 활용해야 하는 멀티미디어 응용 분야에서 유용하게 사용될 수 있다. 향후에는 현재 고려하지 않고 있는 Y 해프톤 셀에 의한 모아레 패턴도 효과적으로 제거할 수 있는 방법과 원시 영상에 보다 가까운 역 해프토닝 영상을 만들 수 있는 칼라 보정 방법의 개발에 대해 연구할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Ulchiny, "Digital Halftoning", MIT Press, 1990

[2] Henry R. Kang, "Color Technology for Electronic Imaging Devices," SPIE Optical Engineering Press, 1996

[3] Jorgen Rydenius, "Inverse Halftoning of Scanned Colour Images," Master Thesis, Dept. of Elect. Eng., Linkoping University, Sweden, 1997

[4] R. L. Stevenson, "Inverse halftoning via MAP estimation," IEEE Trans. Of Image Processing, Vol. 6, No. 4, pp. 574-583, 1995

[5] L. M. Chen and H. M. Hang, "Inverse Halftoning for monochrome picture," IEEE ICIP, Vol. 2, pp. 1022-1026, 1994

[6] Y. T. Kim and G. R. Arce, "Inverse ordered dithered halftoing using permutation filters," IEEE ICIP Vol. 2, pp. 1017-1021, 1994

[7] Jim. Z. C, Lai and J. Y. Yen, "Inverse Halftoning of Color Images Using Classified Vector Quantization," J. of Visual Comm. and Image Representation, Vol. 9, No. 3, pp. 223-233, 1998

[8] 박창대, 이인호, 김재호, "이진 화소 분포를 이용한 Inverse Halftoning," 신호처리합동학술대회 논문집 제 10권 1호, pp. 607-610, 1997

[9] 김종민, 김민환, "칼라 역 해프토닝을 위한 새로운 평활화 마스크의 설계," 한국 멀티미디어 학회 논문지 제1권 2호, pp. 183-193, 1998

[10] Paul A. Delabastita, "Screening Techniques, Moire in Four Color Printing," TAGA, pp. 44-57, 1992

[11] Randy Crane, "A simplified approach to Image Processing," Prentice-Hall, 1997

[12] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, "Digtal Image Processing", Addison-Wesley, 1993

김 종 민

1992년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
1994년 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
1996년 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정 수료
1996년 3월~현재 고신대학교 전산수학과 조교수
관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터 그래픽

김 민 환

1980년 서울대학교 전기공학과 학사
1983년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1988년 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
1991년~1992년 Univ. of Washington 객원연구원
1986~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 화상처리 및 이해, 칼라 공학, 컴퓨터 그래픽